

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СПбГУ)

Институт Наук о Земле  
Кафедра картографии и геоинформатики

**Коротков Владислав Евгеньевич**

**Анализ глубинного строения литосферы в районе Западно-Сибирской  
нефтегазоносной провинции на основе материалов космического дистанционного  
зондирования**

Выпускная квалификационная работа  
по направлению 05.04.03 «Картография и геоинформатика»

Научный руководитель:  
к.т.н., доц., Паниди Е.А.

«\_\_»\_\_\_\_\_2018

Заведующий кафедрой:  
к.т.н., доц., Паниди Е.А.

«\_\_»\_\_\_\_\_2018

Санкт-Петербург

2018

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1. Описание района исследования.....	4
Глава 2. Обзор методов исследования .....	11
2.1 Описание метода исследования .....	15
Глава 3. Описание процесса исследования .....	17
Заключение .....	30
Использованные источники .....	31
Приложения .....	33

## **Введение**

Объектом исследования данной работы являются материалы дистанционного зондирования земли и цифровые геопространственные данные.

Предметом исследования работы являются методики обработки аэрокосмических снимков, способствующие упрощению и улучшению качества визуального и автоматизированного дешифрирования.

Заказчик, согласовавший тему данного исследования, и в интересах которой оно было проведено – ЗАО «Агентство экологического консалтинга и природоохранного проектирования» (ЗАО «Экопроект»). На основе технического задания заказчика формируется цель исследования.

Цель – выработка рекомендаций для обработки растровых данных, которые будут наиболее полно способствовать их эффективному дешифрированию и интерпретации. Для их выработки требуется опытным путем апробировать различные методы обработки данных и сравнить их результативность.

Район исследования – территория Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Для данной работы был выбран более узкий полигон, охватывающий Гыданский и Ямальский полуострова, богатые углеводородными ресурсами.

Поставленные задачи:

1. Изучение района исследования с точки зрения его геологических и геоморфологических характеристик для выявления степени его пригодности к дешифрированию, взаимной обусловленности внутренней геологической структуры и дешифровочных признаков;
2. Изучение современных тенденций поиска углеводородов дистанционными методами и подходящих способов обработки растровых данных;
3. Непосредственно обработка растровых данных и процесс их последующего дешифрирования и интерпретации с составлением промежуточных картографических материалов, иллюстрирующих ход работы.

В соответствии с поставленными задачами данная работа и была разделена на соответствующие разделы.

## Глава 1. Описание района исследования

Все пространство Западной Сибири площадью более 3.5 млн. кв.км представляет собой молодую, самую крупную на земном шаре плиту, ограниченную на западе Уральскими горами герцинского возраста, древним Сибирской плитой (кратоном) на востоке, а на юге и на юго-востоке - складчатыми сооружениями Казахстанского нагорья и Алтае-Саянской области каледонского и герцинского возраста; на севере плита переходит в акваторию Карского моря. Место сочленения Западно-Сибирской и Северо-Туранской плит - Тургайской седловина.

Западно-Сибирская плита имеет двухъярусное строение с выраженным гетерогенным фундаментом и платформенным чехлом, несогласно залегающим на фундаменте.

Средняя мощность коры по данным глубинного сейсмозондирования составляет немногим около 40 км, уменьшаясь в центре до 36-38 км, в зоне зауральских герцинид – до 42-48 км, в восточной части платформы поверхность Мохоровичича понижается до 45 км.

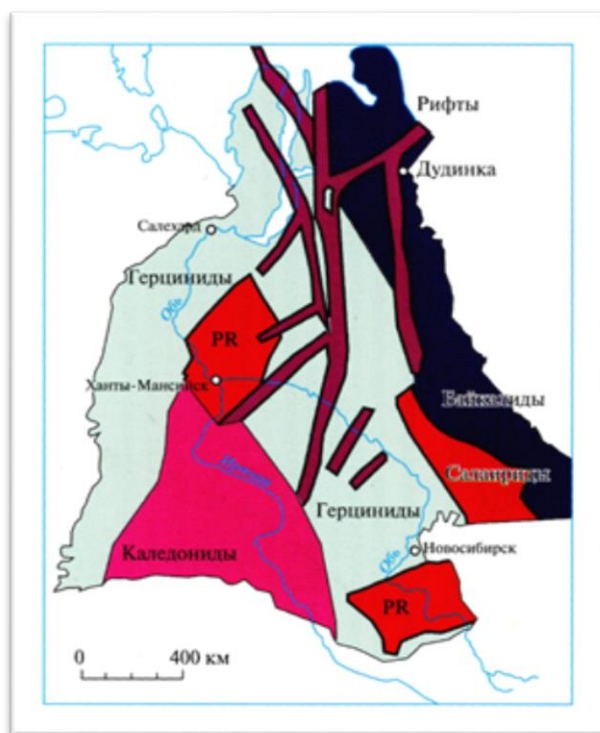


Рис. 1. Строение фундамента Западно-Сибирской плиты.

Красным цветом показаны древние массивы докембрийской эры, коричневым – рифтовые комплексы триасового возраста  
(Короновский Н.В., 2011) [1]

Плита имеет гетерогенным фундамент; она сильно расчленена, особенно на севере, где глубины фундамента достигают 10-12 км (на юге - до 3-6 км). В структуре плиты выделяются несколько моноклиналей - Хантейская и Кеть-Вахская антеклизы; Усть-Енисейская, Надым-Тазовская и Южно-Карская синеклизы на севере. Все эти структуры имеют схожие черты - овальную форму и углы падения крыльев, не превышающие  $1^{\circ}$ . Характерная региональная черта - упрощение очертаний структур вверх по разрезу; в наиболее высоких, приповерхностных горизонтах платформенного чехла часть структур и вовсе исчезает.

Фундамент Западной Сибири был сформирован в результате закрытия Палеоазиатского океана; это закрытие происходило не одномоментно, различные участки его замыкались в разное время, а складчатые сооружения замыкали более древние микроконтиненты.

Между разновозрастным фундаментом и платформенным чехлом заключен комплекс отложений, имеющий разный состав и природу в зависимости от возраста фундамента. На севере плиты (где отслеживаются максимальные глубины залегания фундамента) они достигают максимального возраста - среднепалеозойские морские отложения в карбонатных и терригенных фациях. Полностью же континентальная кора Западной Сибири была сформирована примерно к концу палеозоя.

На рубеже перми-триаса широко развивается континентальный рифтогенез, вызвавший образование многочисленных рифтов и грабенов; стержневым рифтовым комплексом Западно-Сибирской платформы является Колтогорско-Уренгойский меридионального простирания, тянувшийся на длину свыше полутора тысяч километров при ширине до сотни.

Рифты выполнены субаэральными базальтами на значительную глубину. Возраст этих базальтов толеитового и щелочного состава - нижний триас. Общий рисунок рифтов, отличающийся почти изометричным простиранием свидетельствует о растяжении фундамента платформы

Образование самых ранних осадочных пород платформенного чехла обычно приурочивают к юрскому периоду. Он состоит из континентальных (юг, запад и восток платформы) и морских (север) терригенных отложений.

Основание чехла - толща юры (лейас - низы верхней юры) с мощностью до 1000-1500 метров, представленная перчано-глинистыми, сменяющимися на севере морскими

полимиктовыми песчаниками. На юго-востоке плиты - две угленосные свиты мощностью до 0.6 км, разделенные толщей песчанников, гравелитов и конгломератов.



**Рис. 3. Схема фациального районирования нижнесреднеюрских отложений Западно-Сибирской плиты (по В.П.Девятому и А.М.Казакову).**

*Зоны седиментогенеза: 1 – морского, 2 – переходного, 3 – преимущественно континентального, 4 - континентального*

**(Короновский Н.В., 2011) [1]**

Отложения средней юры-мела представлены морскими песчаниками и глауконитами мощностью до 1 км на севере и континентальными красноцветными песчаниками и аргеллитами на юге

Отложения мела преимущественно являются морскими фациями мощностью от 0.6 до 1.5 км, слагаемые терригенными породами – песчаниками, песками, алевролитами, алриллигатами, глинами. На юго-востоке условия были другими и там накапливались в основном гравелиты, пестроцветные глины и каолиниты, с мощностью до 1 км.

Палеоген представлен морскими мелководными терригенными породами - глинами, аргиллитами, кварц-глауконитовыми песками, диатомитами с мощностью от десятков метров до полукилометра. Олигоцен, миоцен и ранний плиоцен характеризуется континентальными озерно-аллювиальными отложениями с мощностью толщи до полукилометра. Четвертичные отложения имеют мощность до 0.2 км и представлены

породами разного генезиса - ледниковыми, ледниково-морскими, морскими (в северной части платформы) и озерными, озерно-болотными, аллювиальными (в южной

В общем, характерная черта отложений платформенного чехла – его преимущественно терригенный состав (песчанники, пески, глины). Это благоприятный фактор для накопления каустобиолитов, поскольку нижерасположенные песчаные породы высокой пористости являются хорошим коллектором нефти и газа, а расположенные ближе к поверхности глинистые породы – запирающей крышкой, сводом коллектора.

Основной вид полезных ископаемых Западно-Сибирской плиты - углеводороды.

Крупные месторождения связаны с мезозойскими отложениями платформенного чехла – так, основными свитами-коллекторами являются оксфордский и волжский ярусы верхней юры; берриаский и неокомский ярусы нижнего мела, аль-сеноманский ярус верхнего мела.

В северной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции расположены основные нефтегазоносные бассейны нашей страны, где аккумулирована подавляющая доля всех разведанных запасов углеводородов – 90% нефти и свыше 95% газа; здесь присутствует большая часть российских супергигантских месторождений с запасами больше 1 млрд тонн – 13 из 14. Западно-Сибирский бассейн делится на 11 областей, из них Среднеобская и Фроловская – нефтеносные, Гыдакская, Ямальская, Пур-Тазовская – существенно газонасыщенные, остальные – комплексные. По суммарным запасам природного газа Западно-Сибирский бассейн примерно равен Персидскому, однако у него существенно (на порядок) меньшие запасы нефти.

Поскольку существует определенная пропорция в соотношении нефти и газа в крупнейших бассейнах, то предполагается, что существуют еще не открытые нефтяные месторождения.

В настоящий момент большая часть запасов нефти Западной Сибири сосредоточена на территории Среднего Приобья (Среднеобская и Фроловская нефтегазоносные площади); эта территория геологически наиболее изучена. Напротив, другие территории изучены весьма неравномерно, и особый интерес представляют рифтогенные мериональные структуры, идущие к северу от Среднего Приобья. Здесь сосредоточены входящие в список крупнейших в мире нефтегазовые, газоконденсатные и газовые месторождения

Из других видов полезных ископаемых на территории платформы представляют интерес залежи оолитовых железных руд и бокситов в Кустанайской области, марганцевые руды в северном; залежи угля в Чулымо-Енисейской и Кустанайской области.

Территория, называемая Западно-Сибирской низменностью, делится на несколько самостоятельных низменностей и возвышенностей - Кондинская, Барабинская низменности и Верхнетазовская возвышенность и Сибирские Увалы.

Западно-Сибирская равнина имеет определенные характерные черты, в комплексе присущие только ей:

1. Внешний возвышенный пояс и внутренняя пониженная часть. Этот рисунок несколько осложнен отдельными грядами возвышенностей – широтно направленными Сибирскими Увалами, Васюганско-Камышловским поднятием.
2. Тектоническая природа основных орогенных элементов Западной Сибири. Такие же широтные элементы рельефа как Сибирские Увалы являются наложенными, более позднего возраста и другого генезиса.
3. Наличие видимых на картах и аэрофотоснимках линейно вытянутых элементов рельефа, обычно вскрытых гидросетью; они связаны с платформенными дюзьюнктивными деформациями. Часто поднятия, ограниченные дюзьюнктивными разломами, приурочены к месторождениям углеводородов
4. Широтная зональность морфоструктурных элементов рельефа и современных процессов рельефообразования. Прослеживается несколько сменяющих друг друга с севера на юг зон:

А) *Зона ледниково-морских форм и мерзотно-солифлюкционных процессов* – вся северная часть равнины до Сибирских Увалов включительно. Мерзлотные грунты препятствуют просачиванию вод, что приводит к заболачиванию; в сочетании с термокарстовым «полигонным» рельефом поверхность образует сложный план местности.

Б) *Зона ледниковых и флювиогляциальных форм, озерно-ледниковых равнин и современных эрозионно-аккумулятивных процессов* – южная граница зоны проходит по линия максимального продвижения на юг самарского оледенения. Локальное, «островное» распространение многолетней мерзлоты, однако она все еще играет роль в формировании ландшафтов.

В) *Зона эрозионных и аккумулятивных равнин и процессов линейной эрозии* – южная граница зоны проходит в полосе перехода к лесостепям. До этой зоны не доходило древнее оледенение и все ландшафты сформировались под воздействием современных эрозионных процессов, здесь широко развита овражно-балочная сеть.



Г) *Зона семиаридных структурно-денудационных плато и равнин с суффозионно-карстовыми процессами* – зона находится в лесостепи и степи, образована в неоген-четвертичный период.

В целом, территория Западно-Сибирской низменности имеет несколько характерных особенностей, которые могут иметь объяснения именно наличием глубинной структуры центрального типа.

В-первых, это наличие нескольких дугообразных структур - орографическая дуга Полярного и Северного Урала, гидрографические дуги долины Оби, Иртыш-Кемского сектора, бассейнов рек Вах и Таз; находящиеся в центральной части низменности замкнутое кольцевое тонометрическое образование, совпадающее с центральным куполовидным поднятием, питающим бассейны рек Надыма, Полуя и Нижней Оби. Была попытка увязать данные особенности орографии, гидрографии и отображения структуры на космических снимках не столько со структурой чехла, но и со структурой земной коры в целом и динамикой верхней мантии, связав геометрию фотопортрета с геодинамическими процессами.

А.А.Смыслов в одной из своих последних работ определяет геодинамические процессы в фундаменте как *полигональный рифтогенез*, предполагающий локальный разогрев на границе кора-мантия и растягивающие напряжения в фундаменте данного бассейна [2]. Правильность этой гипотезы была успешно доказана многочисленными результатами анализа аномальных гравиметрического, теплового и магнитного полей; помимо общего расположения самих аномалий, существует высокая корреляция между гравиметрическими и тепловыми полями с положительным знаком и магнитным полем с отрицательным знаком. В общем, зная строение фундамента и законы физики, можно утверждать, что центроzonальная симметрия, выявленная по внешним признакам дешифрирования, должна проявляться и в глубинной среде.

Проецируясь на земную поверхность, неоднородности глубинного потока отображаются в ландшафте в виде особенностей малых форм рельефа, которые, в свою очередь, обуславливают проявление специфических почвенно-растительных комплексов. Флюидно-газовые потоки, в зависимости от их геометрии, становятся видимыми и отображаются на космических изображениях в виде линейных, кольцевых и вихревых форм. Вертикальный поток вещества так же зачастую рассеивается, создавая диссипативные *криптоморфные образования*, слабо проявленные в рельефе; они локализуются в виде несогласного плана, слабо осложняя морфоструктурный рисунок. В общем, понятие “криптоморфогенез” основывается на некоторых положениях:

1. Тождественность понятий “форма” и “образ”;

2. Дистанционная информация обладает промежуточными свойствами между геологической и геофизической информацией, таким образом, являясь связывающим звеном;
3. Тонометрические аномалии - это результат оптических свойств ландшафтов, которые, в свою очередь, являются результатом диссипации энергии глубинных потоков.

Среди информации, которую несут результаты дистанционного зондирования, можно обнаружить и ту, которую переносят глубинные флюиды - это как информация о материнских породах, так и слоях, через которые они проходят по пути к поверхности.

## Глава 2. Обзор методов исследования

Современные технологии позволили значительно увеличить успешность поиска энергоносителей, таких как нефть и природный газ. Сбор данных, новые технологии характеризуются значительно продвинутыми аналитическими инструментами, оказывающими помощь в этой тенденции. Данные, собираемые для прогнозирования, могут быть из различных источников, включая геологические, сейсмографические и магнитографические съемки. Активно развивающееся направление, известное как «дистанционное зондирование», также может быть включено в список методов, ускоряющих процесс сбора данных [12].

Первичные данные в нефтегазовой сфере разнообразны по своей природе.

Геологические данные, которые находятся в цифровом формате, могут быть проанализированы с использованием простых статистических методов [8], в то время как сейсмические данные, представляемые в графическом формате, требуют сложных методов анализа, чтобы интерпретировать тренды, содержащиеся в них. Сейсмические атрибуты извлекаются из сейсмических данных путем сложного аналитического преобразования для литологического прогнозирования и выявления характеристик пластов. Это извлечение требует специальных навыков, серьезно ограничивающих возможности интерпретации квалификацией исследователя [9].

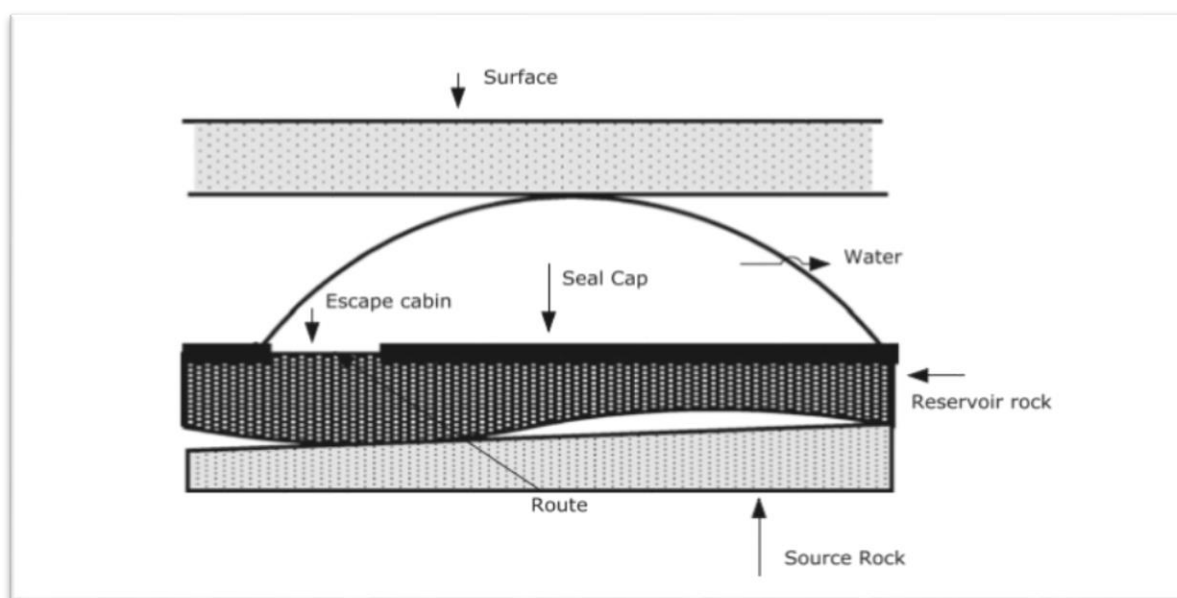
Изучение подземных природных ресурсов напрямую связывается с интерпретацией наземных данных. ДДЗ особенно выгодны при таких интерпретациях в связи с их экономичностью, высокой производительностью (малыми временными затратами) и надежностью. Хотя дистанционные снимки используются для различных целей довольно длительный срок, использование спутниковых снимков в геологии получило особое внимание только в последние десятилетия. Формат данных дистанционного зондирования бывает как векторный, так и растровый. Важно отметить, что геопространственные данные имеют важных три аналитических аспекта: во-первых, они анализируют географическое положение; во-вторых, они анализируют атрибутивные данные; и наконец, они анализируют образы.

Углеводороды природного происхождения, находимые человеком, обычно не совсем однородны и являются смесями разных пропорций природного газа, фракций сырой нефти (бензин, керосин, лигроины, твердых битумов, асфальтов) – образуя целый спектр по плотностям и температурам кипения. Нефтегазовая промышленность активно развивается с XIX века, и долгое время единственным способом поиска нефти и газа

были глубинные бурения. Однако в XIX и XX веках появились технологические инновации, которые с тех пор были использованы в разведке. Коррелируя данные с различных физических полей с обнаруженными запасами методами бурения, были обнаружены закономерности, позволившие создать новые инструменты геологоразведки [5].

Несмотря на многие улучшения, разведка углеводородов продолжает оставаться рискованным делом, занимающим в среднем три-шесть лет и стоящим миллионы долларов [6].

Присутствие углеводорода под земной поверхностью индицируется геологической структурой, которую можно охарактеризовать следующим образом: под выпуклым пластом малопроницаемых пород должна находиться толща высокопористых пород и в прошлом/настоящем должна обеспечиваться миграция углеводородов в породу-коллектор (рис. 3). Очевидно, что куполовидные структуры будут иметь правильные в плане формы, часто в проекции на земную поверхность схожие с кругом или эллипсом.



**Рис. 3. Боковая (профильная) проекция структуры-коллектора. Основные факторы накопления углеводородов (Shaheen M., 2011) [11]**

Процесс поиска нефти в упрощенном виде делится на два этапа. Первым этапом проводятся геофизические исследования - гравитационные и, создается двумерная сейсмическая диаграмма местности. Данные анализируются в сочетании с геологическими и геохимическими данными, и начинается процесс бурения – глубинного опробывания, второй, и самый материально затратный этап поиска углеводородов.

Первая попытка использования косвенных данных - концентраций углеводородного газа в почве – была сделана еще в 1929, что ознаменовало начало современного этапа поиска углеводородов. [7]. Исследователи обнаружили, что вторичные показатели микрофильтрации часто присутствуют в приповерхностных средах, в почвах и осадочных породах.

Можно сделать вывод о том, что существует множество типов информации, которая может быть проанализирована для обнаружения самого факта наличия углеводородов. Эти методы разведки углеводородов можно подразделить на следующие группы:

- Кластеризация;
- Метод опорных векторов;
- Искусственные нейронные сети;
- Использование ДДЗ Земли.

Последний метод особенно привлекателен ввиду своих, присущих в комплексе только ему, особенностей. Так, в наше время инструменты дистанционного зондирования могут легко измерять и собирать терабайты данных. С тенденцией к удешевлению съемок и увеличением плотности данных пользователи-геофизики получают новые возможности прогнозирования при меньших затратах. Дистанционное зондирование быстро распространяется в отрасли разведки углеводородов. Большим числом исследователей были предприняты усилия по увеличению проникновения этой малозатратной технологии в геологоразведку. Начиная с 1980-х годов, в ДДЗ стали использоваться интеллектуальные методы анализа изображений.

Самыми доступными наборами данных для дистанционного зондирования являются Terra и Aqua с пространственным разрешением до 250 метров. Данные MODIS позволяют оперативно оценивать ситуацию в регионах, в то время как RDC ScanEx продолжает разрабатывать методы радиолокационного и интерферометрического мониторинга для нефтегазовой промышленности на базе RADARSAT-I и ENVISAT-I [4]. Landsat и другие дистанционные сенсорные системы, таких как SPOT и JERS используются для поиска индикаторов утечек фракций нефти и газа на поверхность. Достоверность использования дистанционного зондирования в области разведки углеводородов была хорошо апробирована на канадских нефтяных песках бассейна реки Атабаски [6]. Поскольку существуют случайные ассоциации между различными сегментами дистанционного изображения, полезным может быть комбинаторный анализ

таких данных, такой, как например совместный геоботанический и линейный анализ для исключения ложных ассоциаций в ДДЗ.

Обработка изображений имеет решающее значение для преобразования необработанных данных в полезную информацию. Это процесс визуализации дистанционного зондирования, где спектральные данные собираются и записываются в пикселях двумерного изображения. После удаления шума и калибровки изображения географической привязке, чтобы связать пиксель с реальной точкой на земной поверхности. Затем первичные, «сырые» данные исправляются для устранения таких шумов, как атмосферное нарушение, структурные эффекты и искажения. Интерпретация изображений может быть выполнена как самим экспертом-интерпретатором, так аппаратно-вычислительным комплексом. Надежность интерпретируемой информации высока только в том случае, если эксперт имеет глубокое понимание не только средств ГИС, но и геоморфологии, так как ландшафт местности может быть сформирован взаимодействием многочисленных, на первый взгляд неочевидных факторов – это одно из серьезных ограничений метода. Несмотря на наличие большого количества опыта визуальной интерпретации аэро- и космических фотоснимков, этот метод занимает много времени и подвержен человеческим ошибкам. Цифровая контролируемая или неконтролируемая классификация форм грунта с использованием четкой или нечеткой кластерной логики открыла новую возможность для жизнеспособных решений. Однако алгоритмы вычислений подчиняются масштабным зависимостям и произвольному определению границ классов. Наличие растительного покрова и пересеченной местности может также снизить применимость метода. Активно развиваются статистические и вычислительные алгоритмы для определения корреляций между разными полями. Например, появление непараметрических классификаторов, таких как нейронная сеть, становится альтернативой при классификации больших массивов данных.

Для обнаружения изменений в поверхностных структурах в разных ландшафтных и геологических условиях требуются различные методы цветокоррекции изображений, такие как синтезирование мультиспектральных изображений, составляя их из разных каналов, текстурный анализ, различные методы улучшения пространственного разрешения, использование видимых диапазонов совместно с данными гиперспектральных и радарных съемок, расчет вегетационных индексов. В ближайшие десятилетия ожидается получение возможности для рядового пользователя использовать данные с пространственным разрешением вплоть до одного метра [4].

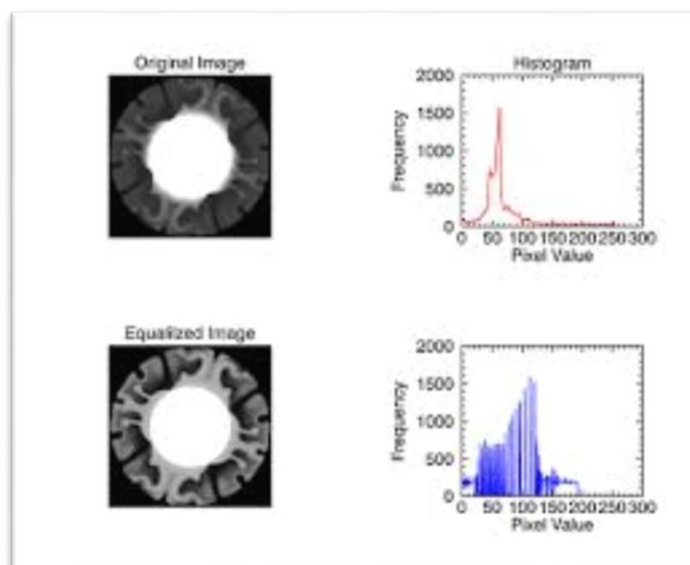
## 2.1 Описание метода исследования

В данном исследовании предлагается способ подготовки спутниковых изображений для их последующего визуального дешифрования [10].

Авторы работы-первоисточника предлагают использовать следующий алгоритм обработки, состоящий из трех операций, приводящих к получению трех наборов растровых данных:

### *А) Операция квантования и построение новой гистограммы*

Цветовая гистограмма, если говорить упрощенно, считает количество пикселей у каждого цвета и строит график их распределения; для удобства пользования, из трех гистограмм для каждого канала строится единая для всего изображения. Обычная гистограмма имеет дело с  $256^3$  цветами = 16.777.216 цветам; специальное преобразование упрощает гистограмму, сокращая исходное число для каждого канала RGB с 256 до 3 бин, а финальное – до 27 бин. Основное преимущество этого метода – радикальное улучшение контрастности изображения, хотя и путем ухудшения визуальных характеристик.



**Рис. 4. Пример выполнения операции квантования**

*Б) Текстура изображения* также важный параметр – для ее анализа нужно вычислить энтропию (меру случайности) изображения. Для анализа текстуры изображение преобразуется в одноцветное серое (или берется исходное панхроматическое изображение), для которого считается новая гистограмма, которая уже используется в формуле расчета энтропии.

$$Entropy = - \sum p_i \log_2 p_i$$

*В) Расчет стандартного отклонения от среднего значения*

Средний цвет RGB пикселя – статистическая величина, которая используется для определения центрального значения из набора данных. Расчет довольно прост – сумма всех значений RGB для каждого пикселя делится на общее количество пикселей.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Стандартное отклонение – простой статистический расчет, вычитание значения RGB-цвета пикселя из среднего значения RGB по изображению.

$$S_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Обе операции, и вычисление среднего значения, и вычисление стандартного отклонения, производится с помощью растрового калькулятора, включаемого в функционал всех популярных ГИС.

Исследователи, использовавшие эти три метода обработки изображений, сфокусировались на пяти классах объектов – зелень, древесная растительность, водный покров, скалы, почва. Методика была опробована на 42 спутниковых изображениях Google Earth и имеет точность около 80%, что является вполне приемлемым результатом [10].



### Глава 3. Описание процесса исследования.

Были выбран район исследования в северной части Западно-Сибирской низменности, охватывающий Гыданский и Ямальский полуострова, известные своими месторождениями углеводородов, преимущественно газоконденсатными.

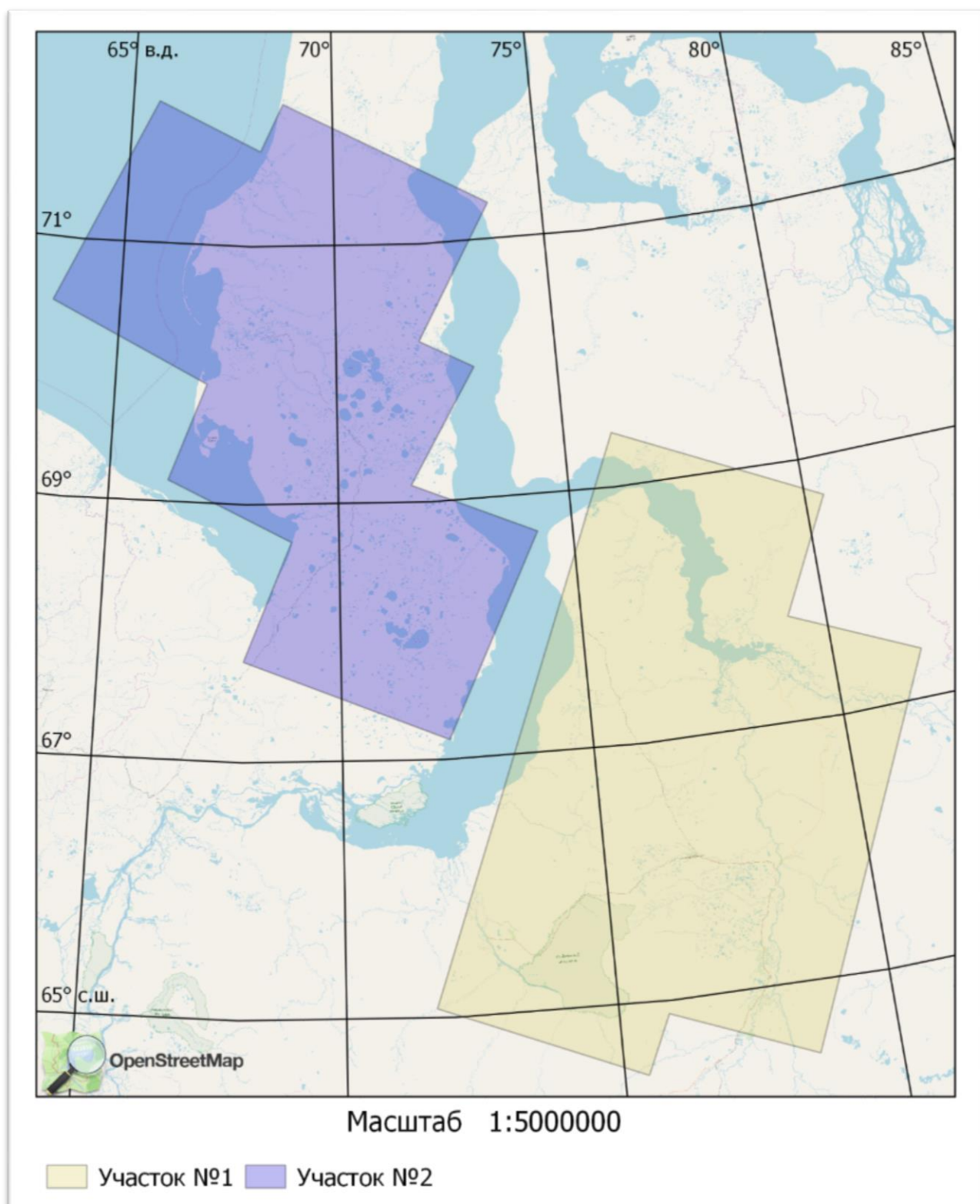


Рис. 5. Зоны охвата спутниковыми снимками района исследования

Источник данных ДЗЗ, использованных в работе – спутниковые снимки Landsat-8. Всего было использовано 9 снимков, охватывающих два полигона, названных соответственно «участок №1» и «участок №2» (рис. 5).

Источник растровых данных – интернет-геопортал Earthexplorer [15]. Портал предоставляет пользователям возможность заказывать и скачивать для некоммерческого использования спутниковые снимки и картографические продукты. Доступ к порталу авторизованный, студентам и представителям научных организаций предоставляется бесплатный лицензионный доступ. Набор заказанных данных на определенную территорию представляет собой архив данных, включающий в себя 11 одноканальных геопривязанных растровых файла в формате .tiff и файл с метаданными в формате .txt.

Название съемочной аппаратуры: спутник "LANDSAT\_8", съемочная система/сенсор "OLI/TIRS"

Каналы:

- 1\_B1\_ch1 (голубой, (фиолетовый), New Deep Blue)
- 2\_B2\_ch1 (синий, Blue)
- 3\_B3\_ch1 (зеленый, Green)
- 4\_B4\_ch1 (красный, Red)
- 5\_B5\_ch1 (NIR, ближний инфракрасный)
- 6\_B6\_ch1 (SWIR, коротковолновый (ближний) инфракрасный)
- 7\_B7\_ch1 (SWIR, коротковолновый (ближний) инфракрасный)
- 8\_B8\_ch1 (PAN, Панхроматический)
- 9\_B9\_ch1 (CIRRUS, используется для 9 канала вместо SWIR)
- 10\_B10\_ch1 (TIRS, тепловой)
- 11\_B11\_ch1 (TIRS, тепловой)

Пространственное разрешение мультиспектральных снимков – 30, панхроматического – 15 (сенсор OLI), 100 метров для сенсора TIRS.

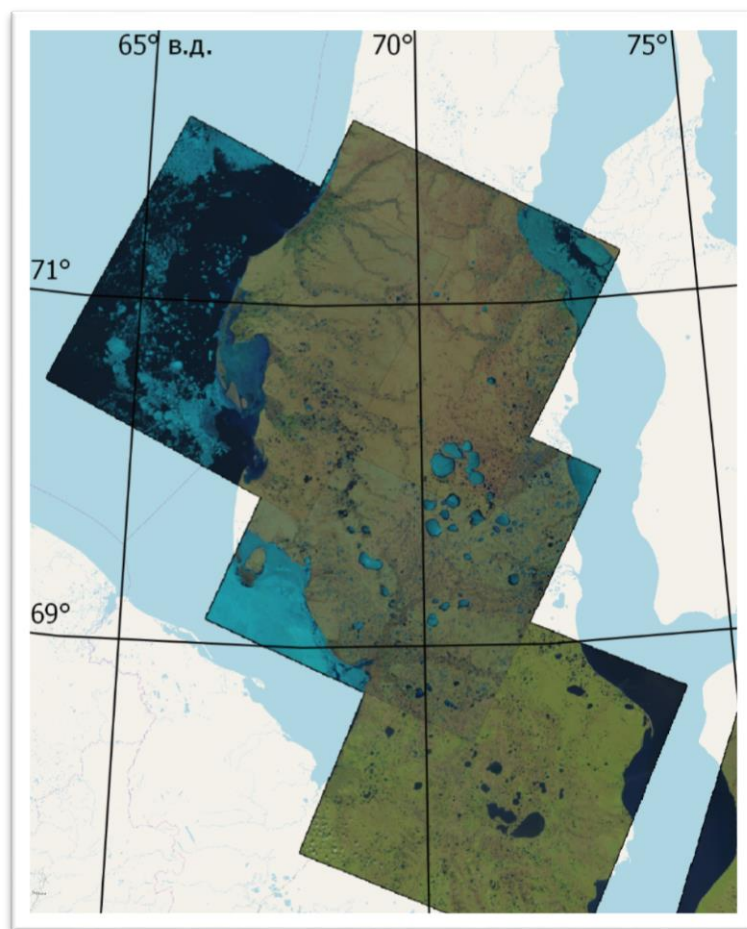
Районы охватываются следующими снимками:

- 1) LC08\_L1TP\_157013\_20160619\_20170323\_01\_T1  
*Проекция снимка – UTM Zone 44N*  
LC08\_L1TP\_157014\_20160705\_20170323\_01\_T1  
LC08\_L1TP\_159012\_20160617\_20170323\_01\_T1  
LC08\_L1TP\_159013\_20160703\_20170323\_01\_T1  
LC08\_L1TP\_159014\_20160703\_20170323\_01\_T1  
*Проекция четырех снимков – UTM Zone 43N*
- 2) LC08\_L1TP\_163012\_20160715\_20170323\_01\_T1  
LC08\_L1TP\_165011\_20140622\_20170421\_01\_T1  
LC08\_L1TP\_166010\_20160618\_20170323\_01\_T1  
LC08\_L1TP\_168010\_20160616\_20170323\_01\_T1  
*Проекция четырех снимков – UTM Zone 42N*

Снимки охватывают период 2015-2017 гг., они ограничены летним вегетационным периодом (месяцы – май, июнь, июль, август, сентябрь).

Все растры были скомпонованы в цветовых комбинациях RGB с каналами 4, 3 и 2 («естественные цвета»).

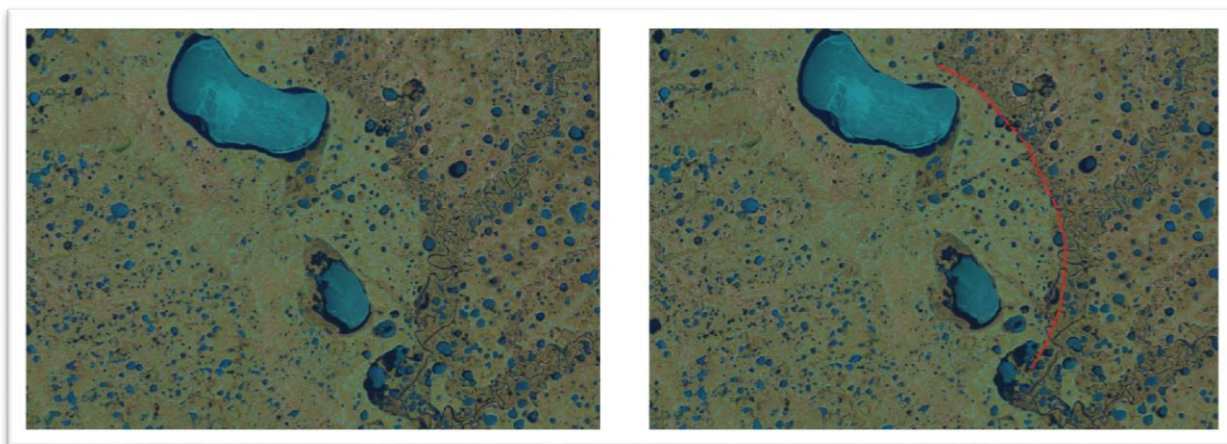
Далее для дальнейшей работы требуется создать мозаики растров. Для ее составления (а также для того, чтобы проекты в ГИС и соответственно векторные данные были в единой проекции) снимки в зонах 42N и 44N перепроецируются в 43N. Далее с помощью инструмента «Объединение растров» строятся две мозаики и сохраняются как новые наборы растровых данных (рис. 6, приложение 1).



**Рис. 6. Составление мозаики из спутниковых снимков (фрагмент)**

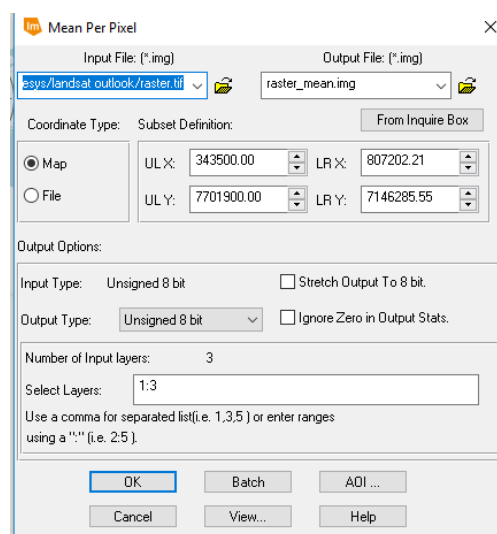
Далее в проекте создается новый линейный векторный слой, в котором производится нанесение дешифрованных кольцевых структур (см. рис. 7). Необработанный спутниковый снимок не отличается сильной информативностью ввиду своей малой контрастности и таких очевидных структур, как на рис. 7, практически не наблюдается. Всего с помощью дешифрирования необработанного изображения с «натуральными цветами» было выявлено 29 структуры – в основном это объекты, индицируемые рисунком речной сети.

В дальнейшем, в соответствии с алгоритмом, описанным в главе 2, следует обработать оба снимка с помощью следующих процедур:



**Рис. 7. Пример определения кольцевой структуры на необработанном спутниковом снимке.**

- 1) Преобразовать трехканальный RGB-снимок в одноканальный панхроматический с помощью алгоритма Mean per Pixel – т.е. находится среднее арифметическое из трех значений интенсивности трех каналов на каждый пиксель и присваивается тому же пикселю в новом панхроматическом изображении. Данный этап промежуточный и в дальнейшем дешифрировании полученные панхроматические изображения не нужны. Подобный алгоритм выполняется с помощью интерфейса программы Erdas Imagine (рис. 8)



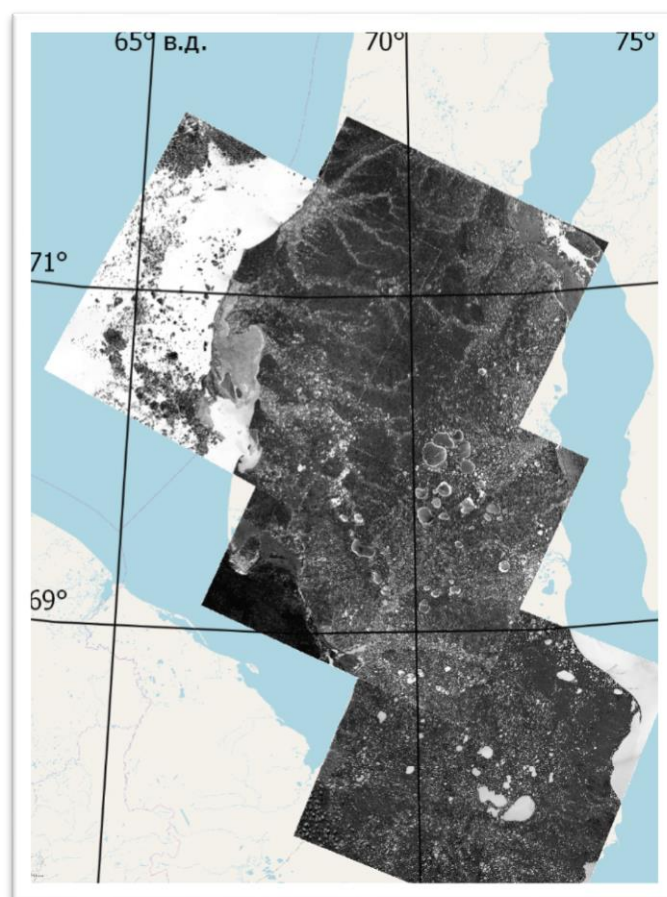
**Рис. 8. Вычисление среднего значения**

- 2) Найти значение отклонения от среднего значения по растру. Данная операция выполняется с помощью Калькулятора растров. Для этого нужно из величины среднего значения пикселя по панхроматическому растру (эта величина есть в метаданных растра) вычесть значения пикселей этого растра по такому примеру:

$$\text{Dev} = 55 - @ \text{LC08\_L1TP\_157013\_20160619\_20170323\_01\_T1}$$

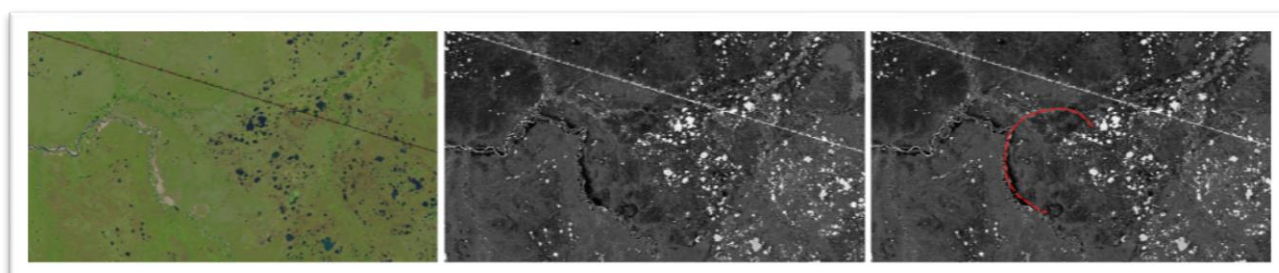
Результат сохраняется в новый набор растровых данных, в котором каждому пикселю присвоено значение вычисленной разности (рис. 9, приложение 2).





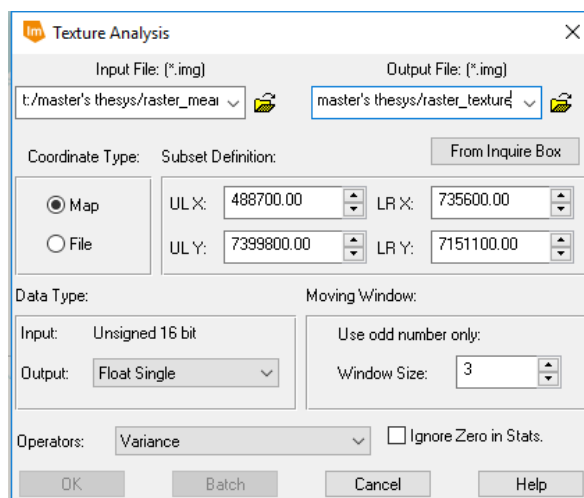
**Рис. 9. Нахождение отклонения от среднего значения**

Так же, как и в случае дешифрирования по необработанным спутниковым снимкам, не наблюдается высокой информативности (рис. 10) – итого, используя растры с присвоенными значениями посчитанного отклонения, было дешифрировано всего 24 кольцевые структуры. В основном это структуры, приуроченные к рисунку речной сети, резкой смене режима увлажнения (болото-лес), подстилающей поверхности (почв, грунтов).

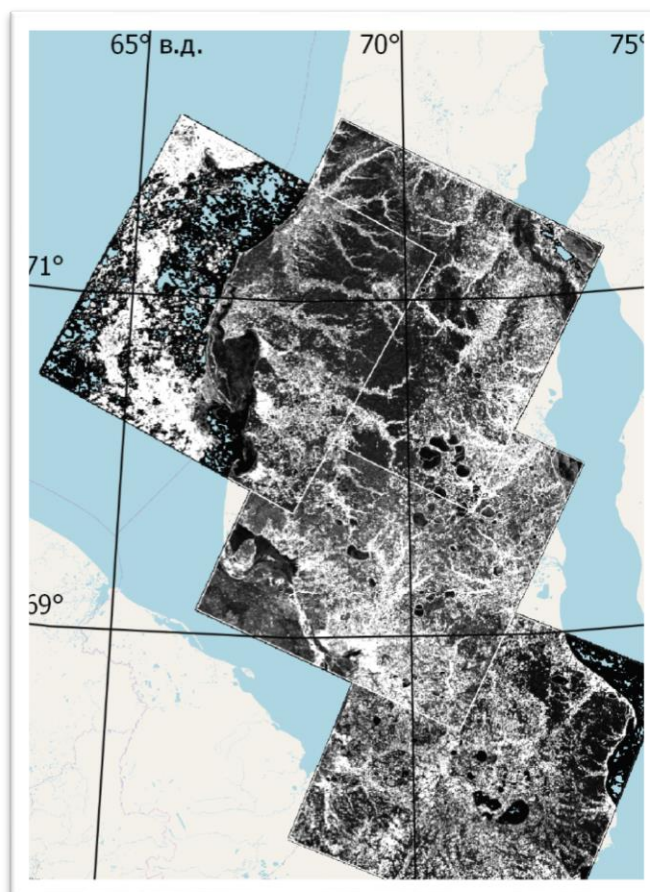


**Рис. 10. Пример разницы дешифровочных признаков необработанного (слева) и обработанного (посередине и справа) снимков**

- 3) Вычислить текстуры панхроматического одноканального изображения. Для этого ранее вычисленный одноканальный набор растровых данных обрабатывают с помощью инструмента Texture Analysis программы Erdas Imagine (рис. 11), сохраняя данные в новый набор растровых данных (рис. 12, приложение 3).

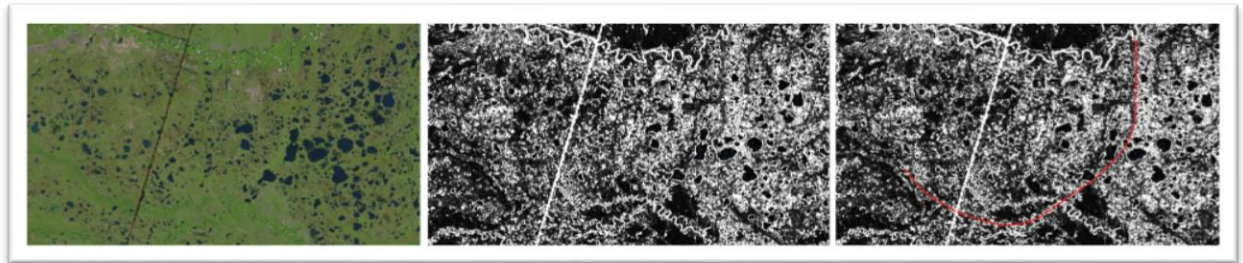


**Рис. 11. Вычисление текстур панхроматического изображения**



**Рис. 12. Вычисленные значения текстур (фрагмент)**

В результате последующего дешифрирования были получены весьма оптимистичные результаты с 51 выявленной кольцевой структурой. Эти структуры приурочены к целому спектру индицирующих признаков - смене ландшафтных ареалов, границам местных рельефных зон, рисунку речной сети (рис. 13)

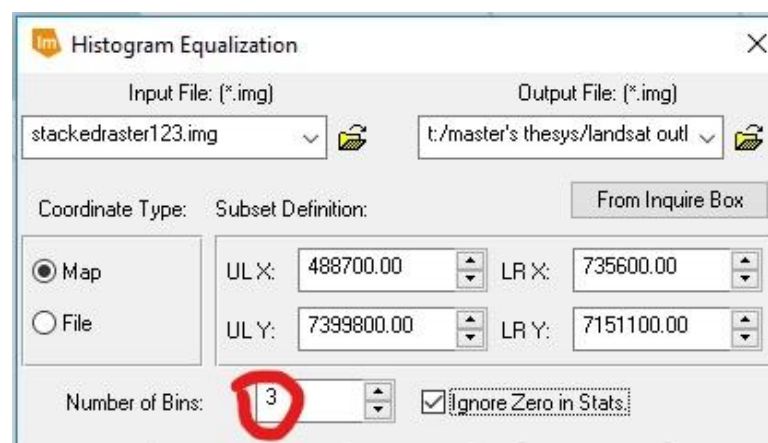


**Рис. 13. Пример разницы дешифровочных признаков необработанного (слева) и обработанного (посередине и справа) снимков**

- 4) Операция квантизации – иначе говоря, уменьшение числа цветов изображения. RGB – это аддитивная модель цвета, главный принцип работы которой – смешение трех базовых цветов; всего 256 вариаций для каждого из исходных цветовых каналов приводят к 16.5 миллиардам максимально возможным вариантам их сочетаний. Это гарантирует высокую насыщенность картинки, но вместе с тем слишком большую плавность, недостаточную контрастность и резкость для грубой классификации объектов. Радикально уменьшив исходное число возможных сочетаний для каждого из цветовых каналов, можно уменьшить и максимальное возможное количество цветов и вместе с тем провести четкую классификацию.

Процедуру квантизации можно проиллюстрировать на следующем примере:

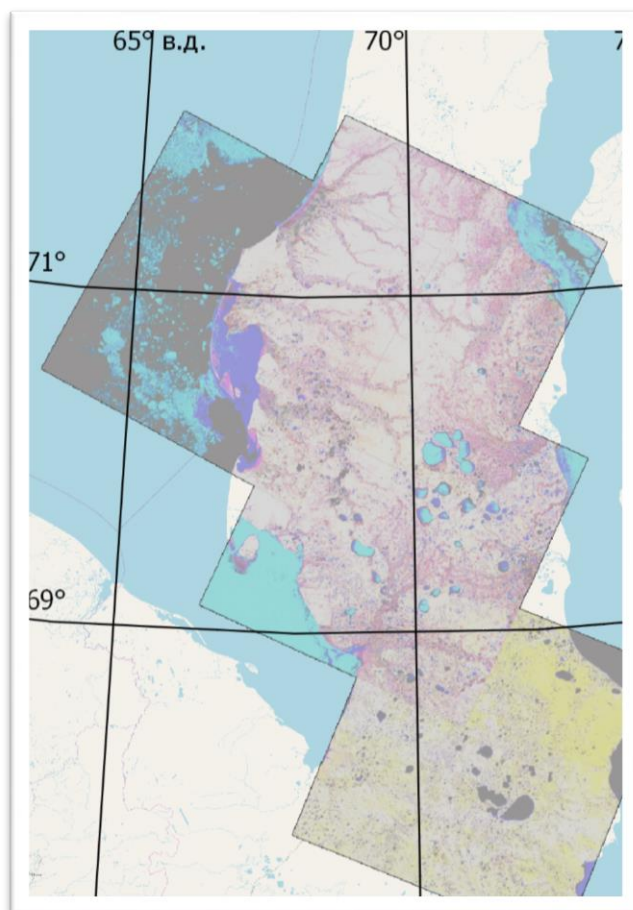
Исходный RGB пиксель с максимально  $256^3$  возможными вариациями будет кодироваться как 246:114:84. Уменьшим количество исходных бинов для каждого канала с 256 (минимум – 0, максимум – 255) до 3 (минимум – 0, максимум – 2); теперь все бины с 0 до 85 будут кодироваться как 0, с 86 до 171 как 1, и с 172 до 255 как 2. Таким образом, пиксель теперь будет кодироваться как 2:1:0. Общее число максимально возможных вариаций цветов уменьшается до  $3^3 = 27$ . Для квантизации растров использовался инструмент Histogram Equalization программы Erdas Imagine (рис. 14).



**Рис. 14. Квантизация цветовой гистограммы**

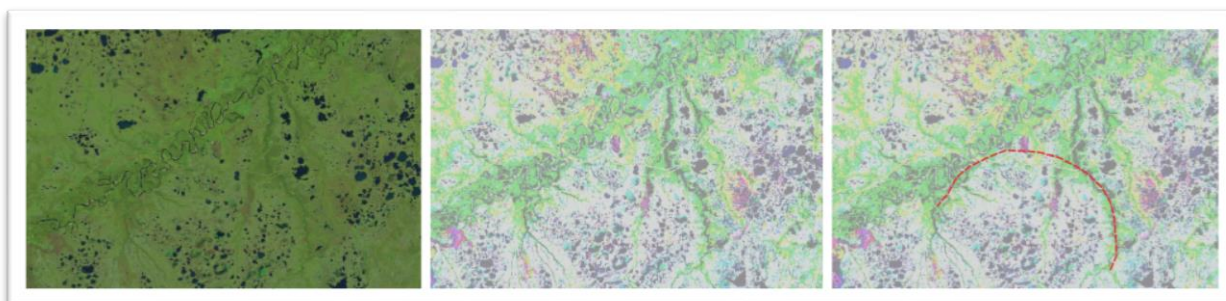


Результат выводится в виде нового набора растровых данных (рис. 15, приложение 4).



**Рис. 15. Изображение с квантизированной гистограммой (фрагмент)**

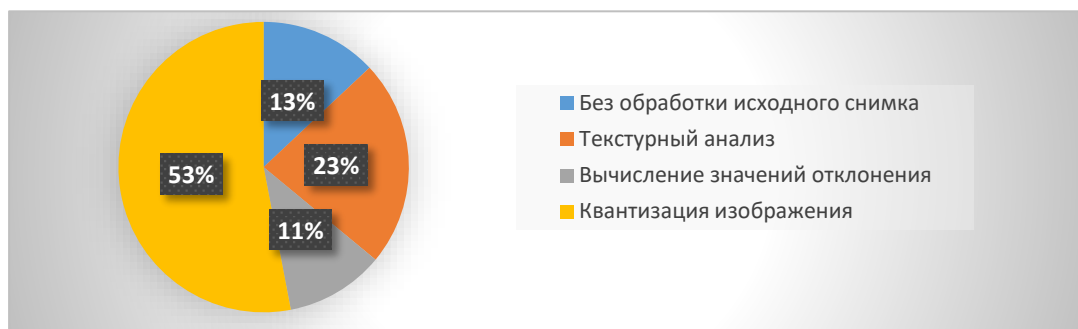
При дешифрировании квантизированного изображения было выявлено 109 кольцевых структур – приуроченным к смене растительных ареалов, типам почв и режиму их увлажнения, горным породам, гидрографии, микрорельефу (рис. 16). В целом, можно отметить, что анализ квантизированного изображения дает наибольший результат – около 50 % всех структур были выявлены на этом этапе.



**Рис. 16. Пример разницы дешифровочных признаков необработанного (слева) и обработанного (посередине и справа) снимков**

В результате, можно увидеть (рис. 17) следующее соотношение количества дешифрованных кольцевых структур в зависимости от способа обработки раstra, используемого при подготовительном этапе:

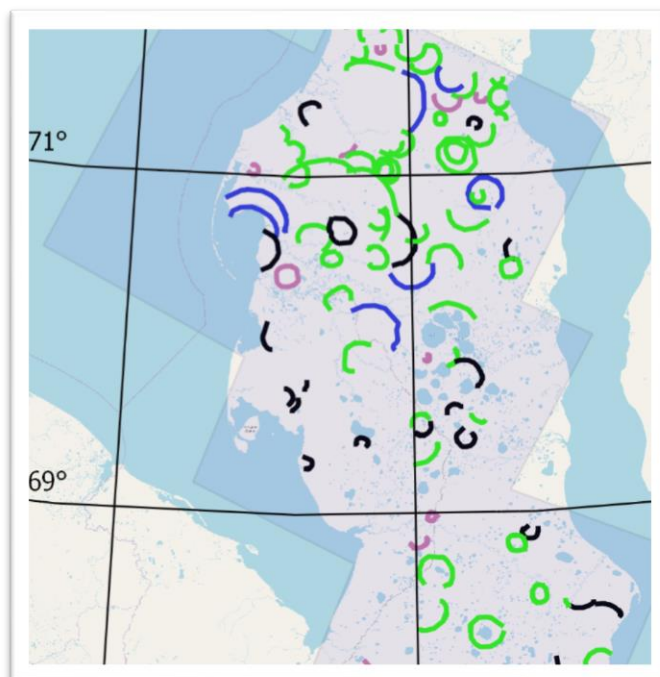




**Рис. 17. Распределение выявленных структур между типами растровых наборов данных, которые использовались при их дешифрировании.**

- Используя обычные, необработанные космические снимки Landsat с цветовой комбинацией RGB 4-3-2 («натуральные цвета») было выявлено 29 из 223 структур или 13 процентов;
- Вычисляя текстуры панхроматического одноканального изображения, была выявлена 51 из 223 структур или 23 процента;
- Вычисляя отклонение от среднего значения панхроматического одноканального изображения, было выявлено 24 из 223 структур или 11 процентов;
- Наибольшее число структур было выявлено, используя многоканальное цветное изображение с цветовой комбинацией RGB 4-3-2, подвергнутое операции квантизации – так, в ходе этого этапа было нанесено 119 из 223 структур, что составляет 53 процента.

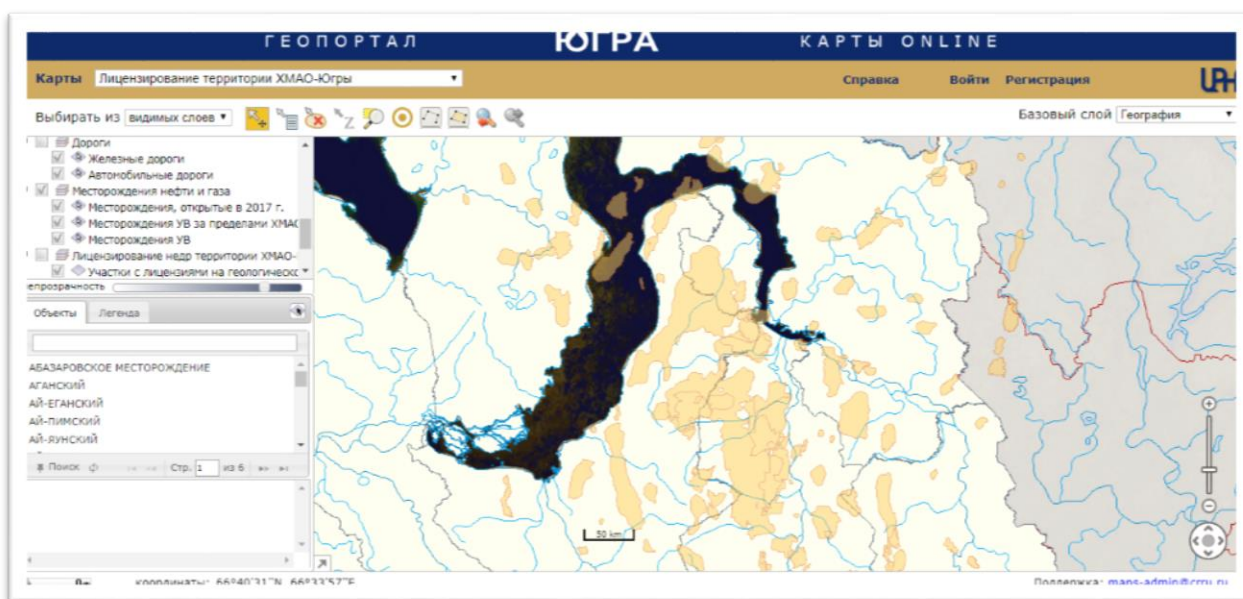
На рис. 18 и в приложении 5 можно увидеть пространственное распределение кольцевых структур, определенных четырьмя разными способами.



**Рис. 18. Пространственное распределение кольцевых структур (фрагмент)**

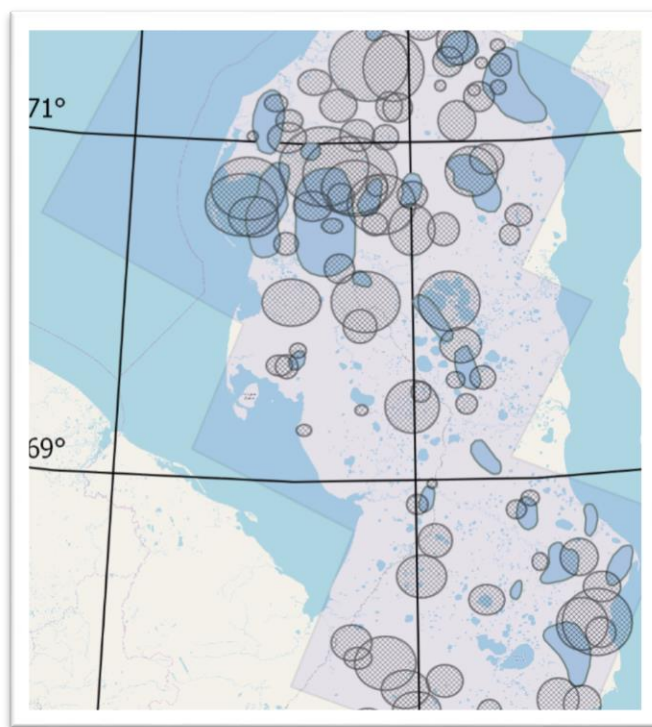
После дешифрования требуется оценить его точность, сравнив пространственное положение и геометрические характеристики выявленных кольцевых структур с проекцией на дневную поверхность контуров месторождений нефти и газа. Сравнение можно провести как визуально, так и с помощью алгоритма, позволяющего находить корреляцию между наборами матричных данных. В обоих случаях первые два этапа связаны с тем, что нужно получить два набора полигональных векторных данных – кольцевых структур и контуров месторождений.

- 1) Создается полигональный векторный слой в той же системе координат и проекции, что и весь проект (UTM 43N). Далее с помощью модуля QGis Rectangles&Ovals Digitasing создаются полигоны круглой и эллипсовидной формы – имеющие тот же радиус кривизны и центр, что и кольцевые структуры (которые в свою очередь являются окружностями различной степени завершенности).
- 2) Далее требуется добавить в проект данные о пространственном и геометрическом положении углеводородных месторождений. Источник данных, используемых для этого – Геопортал ЮГРА, интернет-ресурс, принадлежащий Научно-аналитическому центру рационального недропользования им В.И.Шпильмана – [13] (рис. 19). Данные о местоположении и форме месторождений предоставляются бесплатно (в некоммерческих целях), используемый формат данных – KML. Данный формат преобразуется с помощью базовых функций программы ArcMap в ESRI Shape-файлы. После этого этот векторный полигональный файл добавляется в проект, автоматически перепроецируется.



**Рис. 19. Интернет-геоportal ЮГРА. Веб-адрес:**  
**<https://maps.crru.ru/smaps/cmViewer.php> [13]**

На рис. 20 и в приложении 6 можно увидеть и визуально оценить взаимное пространственное расположение кольцевых полигонов и месторождений нефти и газа.



**Рис. 20. Расположение кольцевых полигонов и месторождений (фрагмент)**

Визуально заметна довольно высокая корреляция между контурами кольцевых структур и газоконденсатными месторождениями Гыданьского полуострова, т.е. на Участке № 1. Это следующие крупные месторождения:

- Медвежье, Уренгойское, Заполярное, Ямбургское и др.

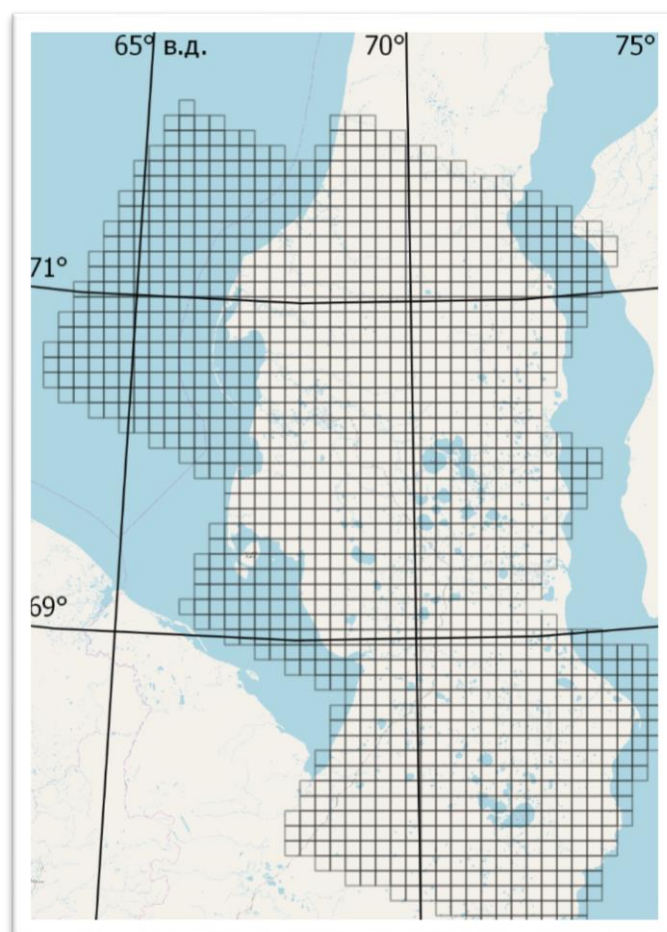
Даже невооруженным взглядом заметно, что более 70 процентов площади кольцевых полигонов в той или иной мере оказывается приурочено к пятнам этих четырех месторождений либо более мелких.

Что касается участка № 2, то здесь картина не столь очевидна, однако так же можно проследить определенную взаимосвязь. На территории этого участка (Ямальский полуостров) находятся три крупных газоконденсатных месторождения:

- Новопортовское, Бованенковское, Южно-Тамбейское, Ростовцевское.

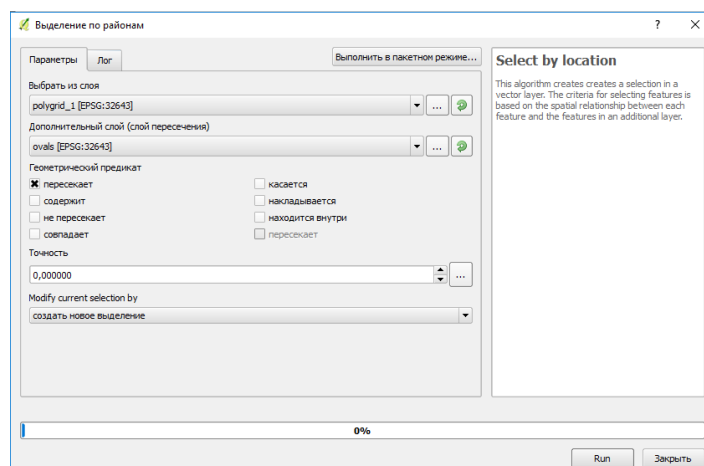
Все четыре имеют контуры, совпадающие с той или иной кольцевой структурой, однако множество других кольцевых структур явно не приурочены ни к каким крупным подземным формам. Так, подобное можно сказать про две крупнейшие дешифрованные в работе структуры на юге Ямальского полуострова. В целом, нельзя без специальных подсчетов прикинуть степень корреляции между дешифрованными структурами и контурами месторождений на Участке № 2, кроме того, что она положительная и определенно выше пятидесяти процентов.

Чтобы подсчитать уровень корреляции между двумя векторными слоями, нужно будет получить два числовых ряда, где наличию полигона в какой-то точке будет соответствовать единица, а отсутствию – ноль. Первым этапом является создание т.н. векторной полигональной сетки (Polygon Grid), с охватом, соответствующим границам сшитых растров. Заданный размер ячеек в 10×10 км (рис. 20, приложение 7).



**Рис. 21. Векторная сетка (фрагмент)**

Далее, с помощью инструмента Калькулятор (векторных) полей двум полям слоя с полигональной сеткой – Circles и HydroC – присваиваются значения единицы или нуля в зависимости от наличия/отсутствия в каждой ячейки соответствующего полигона. Для начала нужно выделить все ячейки слоя, пересекающиеся с одним и другим слоем с помощью инструмента Пространственная Выборка – Выборка по пересечению (рис. 22). После присвоения единиц выделение снимается, всем оставшимся ячейкам присваивается значение нуля.



**Рис. 22. Пространственная выборка**

В результате, образуя два набора числовых данных (рис. 23), корреляцию между которыми можно проверить в любой вычислительной программе.

number	count	sum	mean	min	max	circles	HydroC
177	177					0	0
178	178					0	0
179	179					0	0
180	180					0	0
181	181					0	0
182	182					0	0
183	183					0	0
184	184					0	0
185	185					0	1
186	186					0	1
187	187					1	0
188	188					1	0
189	189					1	0
190	190					1	0

**Рис. 23. Представление двух наборов данных в атрибутивной таблице**

Данные из атрибутивной таблицы копируются и переносятся в новый проект в программе MS Excel. Создается три листа с отдельными наборами данных:

1. Лист, содержащий данные по обоим участкам исследования;
2. Лист, содержащий только данные с первого участка;
3. Лист, содержащий только данные со второго участка.

Подсчет корреляции по отдельным участкам необходим по той причине, что она явно будет иметь различные значения и нужно знать, насколько эта разность влияет на общее (среднее) значение.

Согласно формуле расчета коэффициента корреляции Спирмена, корреляция является:

- Очень слабой при абсолютном значении менее 0.2;
- Слабой при абсолютном значении от 0.2 до 0.5;
- Средней при абсолютном значении от 0.5 до 0.7;
- Сильной при абсолютном значении от 0.7 до 0.9;
- Очень сильной при абсолютном значении от 0.9 до 1.

Вычисленные значения коэффициента корреляции:

- Общее значение – 0.557308, т.е. средняя корреляция;
- Значение для участка № 1 – 0.610458, т.е. средняя корреляция;
- Значение для участка № 2 – 0.504158, т.е. средняя корреляция.

## **Заключение**

Цель, поставленная в начале исследования, была достигнута; в ходе дешифрирования группы аэрофотоснимков, охватывающих территорию исследования, было выявлено, что наибольшей информативностью для выявления структур, приуроченных к внутреннему строению литосферы, будет обладать метод, связанный с квантизацией цветовой гистограммы трехканального растрового изображения.

Также, исходя из значений и знака коэффициента корреляции (средняя положительная корреляция) было доказано что само дешифрирование было проведено с достаточной для цели данного исследования точностью.

Все задачи, поставленные в рамках исследования, также выполнены.

Результаты данного исследования удовлетворяют цели заказчика, который в дальнейшем может использовать их для собственных фундаментальных либо прикладных изысканий.



## Использованные источники

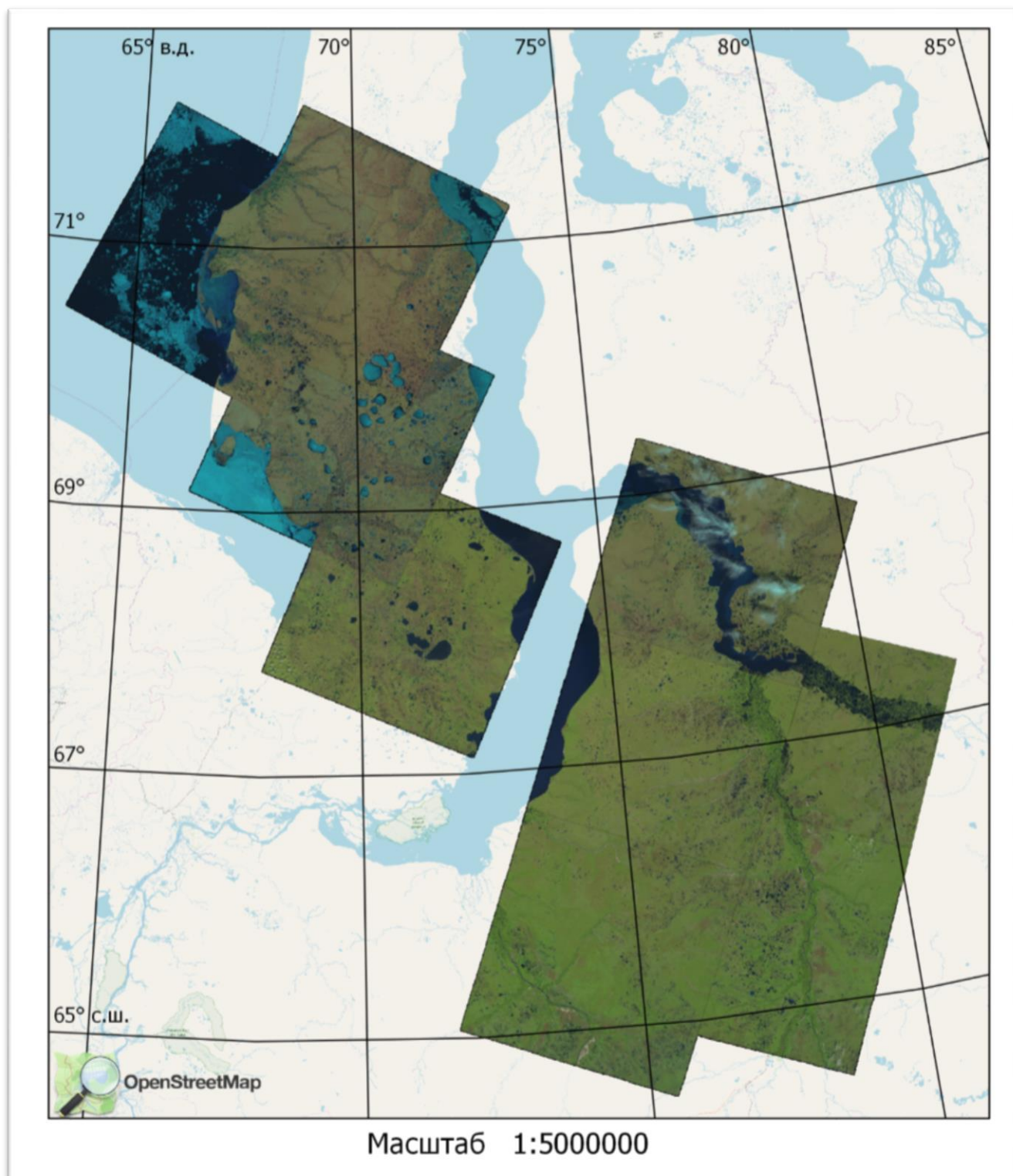
1. Короновский Н.В. Геология России и сопредельных территорий: учебник. – Москва: Академия, 2011. – 254 с.
2. Смыслов А.А., Козлов А.В., Вяхирев Ю.Р. Проблемы нефтяной отрасли России в XXI веке и пути её решения. Актуальные проблемы минерально-сырьевого комплекса. // Записки горного Института. Приложение, 2003. С.1-12.
3. Соловьёв В.В. Структуры центрального типа на территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. Л.: Недра, ЛО, 1978. 112с.
4. Biegert EK (2007) From black magic to swarms: hydrocarbon exploration using non-seismic technologies. EGM 2007 international workshop innovation in EM, grav and mag methods: a new perspective for exploration Capri Italy
5. Bott RD (2004) Evolution of Canada's oil and gas industry. Canadian Center for Energy Information, CanadaJahn et al., 2003
6. Gershenson VE (2007) Operational space monitoring for oil and gas industry. ScanEx research and Development Center, RussiaArevalo et al., 2008
7. Jones VT, Matthews MD, Richers DM (1999) Light hydrocarbons for petroleum and gas prospecting. Handbook of exploration geochemistry. Elsevier Science B.V., vol 7Short 2003
8. Koch GS, Link RF (2002) Statistical analysis of geological data. Courier Dover Publications, USA
9. Moraes DRS, Espíndola RP, Evsukoff AG, Ebecken NEF (2007) Cluster analysis of 3D seismic data for oil and gas exploration. In: Data mining VII, data, text and web mining and their business applications, BrazilYang 2006
10. Shahbaz M., Guergachi A., Noreen A., Shaheen M. (2013) A Data Mining Approach to Recognize Objects in Satellite Images to Predict Natural Resources. In: Yang GC., Ao S., Gelman L. (eds) IAENG Transactions on Engineering Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 229. Springer, Dordrecht
11. Shaheen, M., Shahbaz, M., Rehman, Z. (2011) Data mining applications in hydrocarbon exploration. Artificial Intelligence Review 35: 1.
12. Warner TA (2000) Geobotanical and lineament analysis of Landsat satellite imagery for hydrocarbon microseep. Information Bridge, DOE scientific and technical information
13. Геопортал ЮГРА [Электронный ресурс]/Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана – Картографические

- материалы и справочная информация – Режим доступа к ресурсу: [maps.crru.ru](http://maps.crru.ru), авторизованный
14. ArcGis Desktop: Documentation [Электронный ресурс]/ESRI – Текстовые справочные материалы – Режим доступа к ресурсу: [desktop.arcgis.com](http://desktop.arcgis.com), свободный
15. EarthExplorer [Электронный ресурс]/ USGS - Цифровые картографические материалы - Режим доступа к ресурсу: [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov), авторизированный.
16. Hexagon Geospatial [Электронный ресурс]/Hexagon – Текстовые справочные материалы – Режим доступа к ресурсу: [hexagongeospatial.com](http://hexagongeospatial.com), свободный
17. QGIS User Guide [Электронный ресурс]/QGIS – Текстовые справочные материалы – Режим доступа к ресурсу: [docs.qgis.org](http://docs.qgis.org), свободный

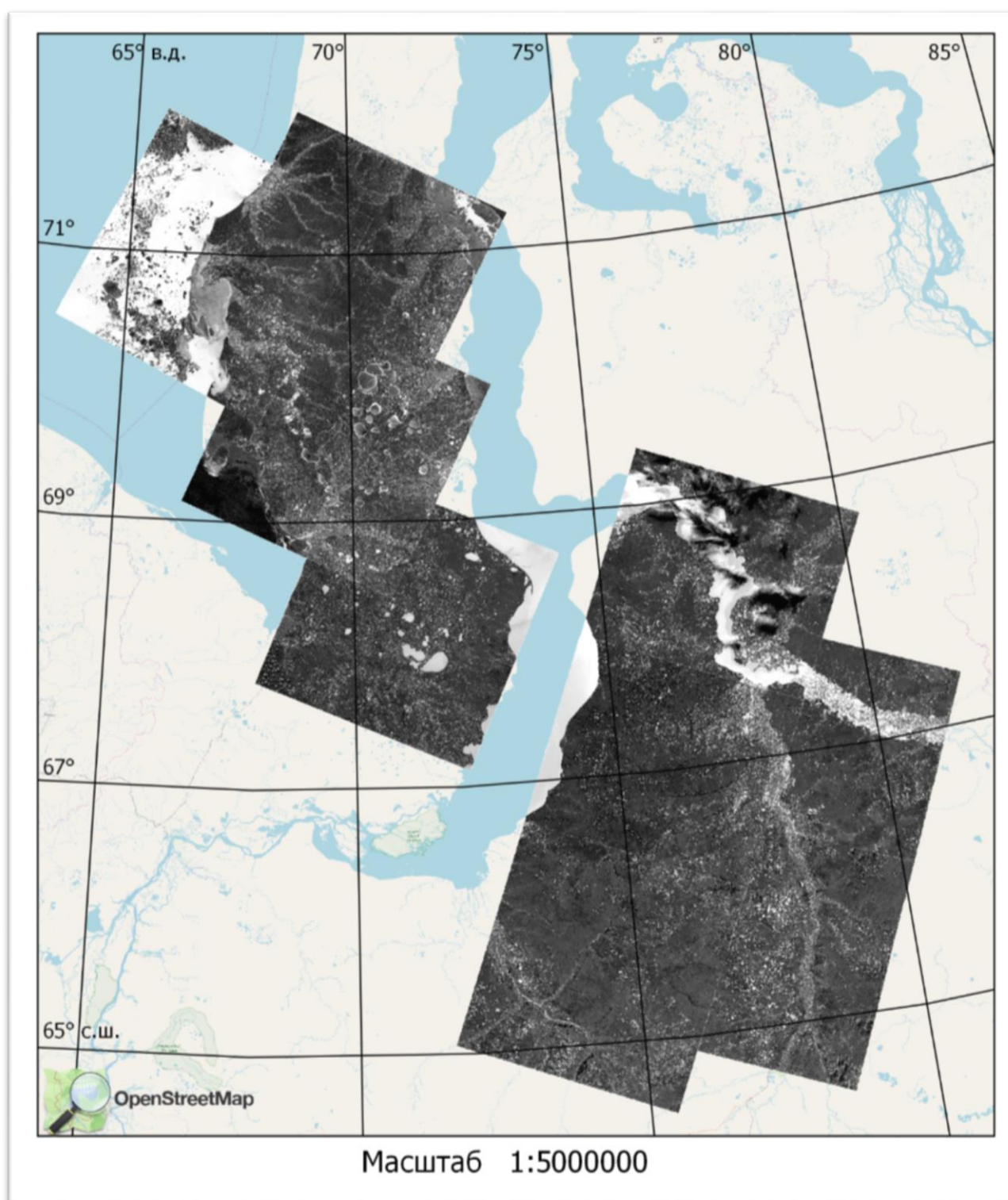


## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Мозаики из спутниковых снимков



Приложение 2. Вычисленные отклонения от среднего значения

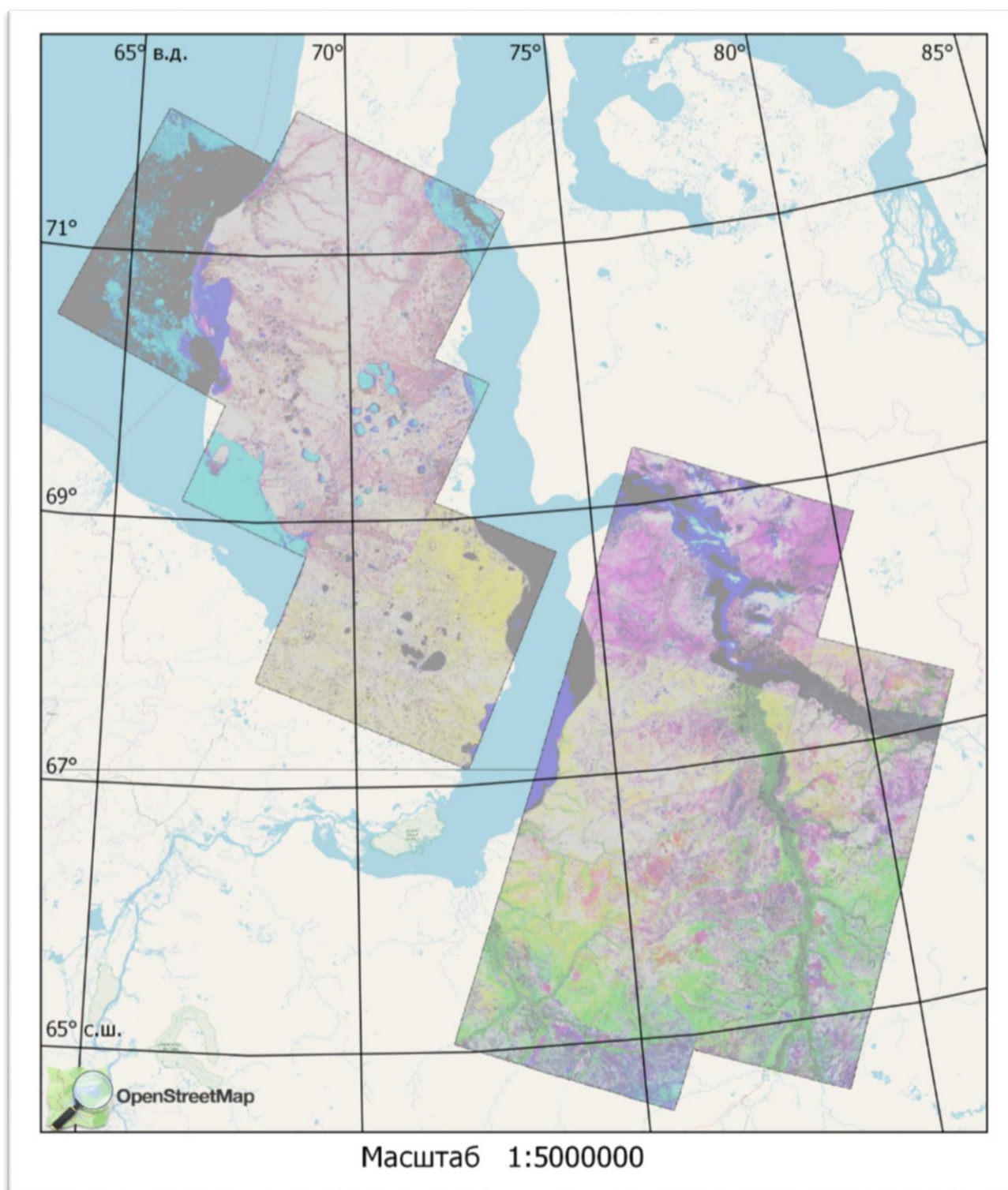




### Приложение 3. Вычисленные значения текстур

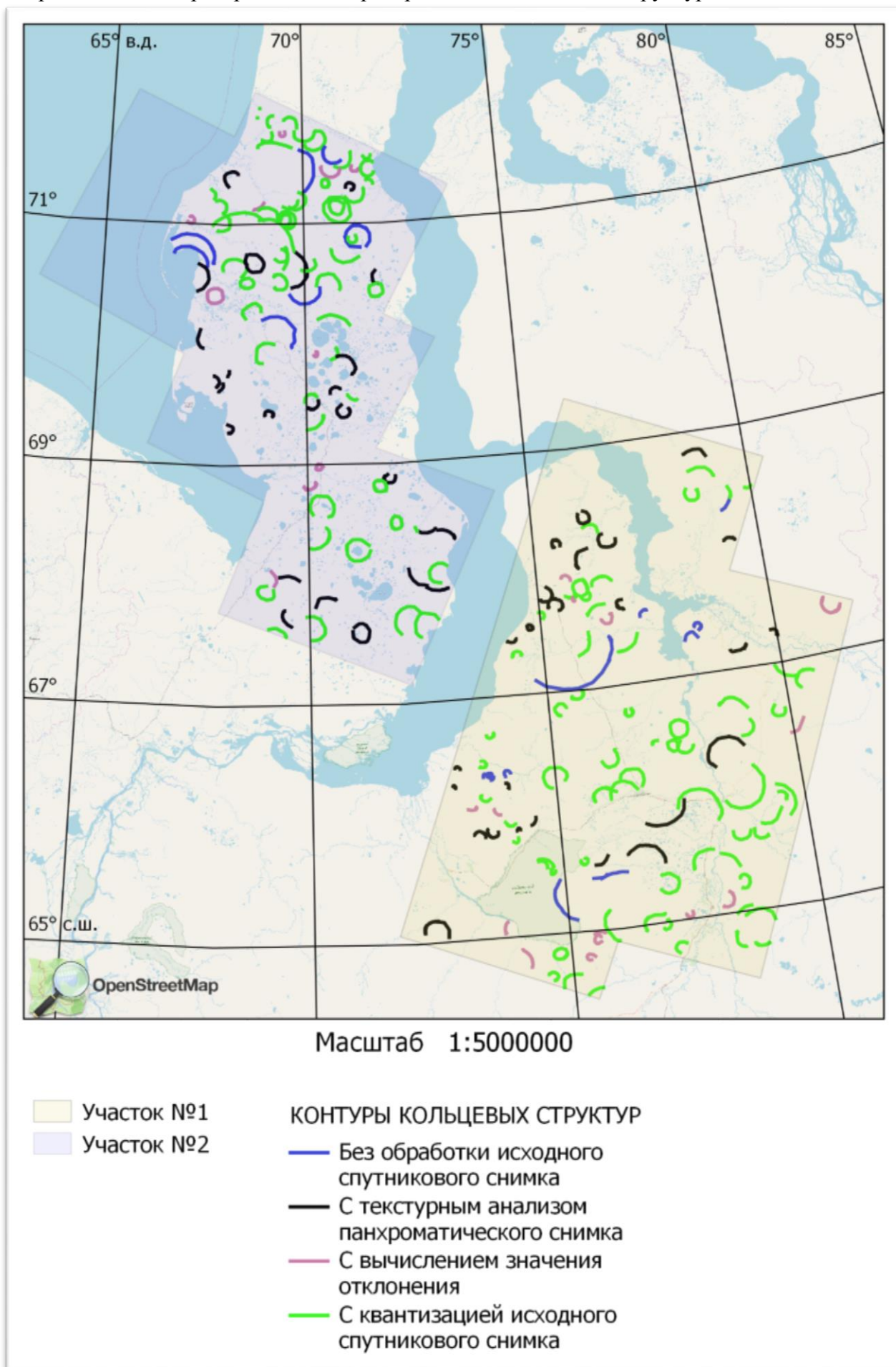


#### Приложение 4. Квантизированные изображения

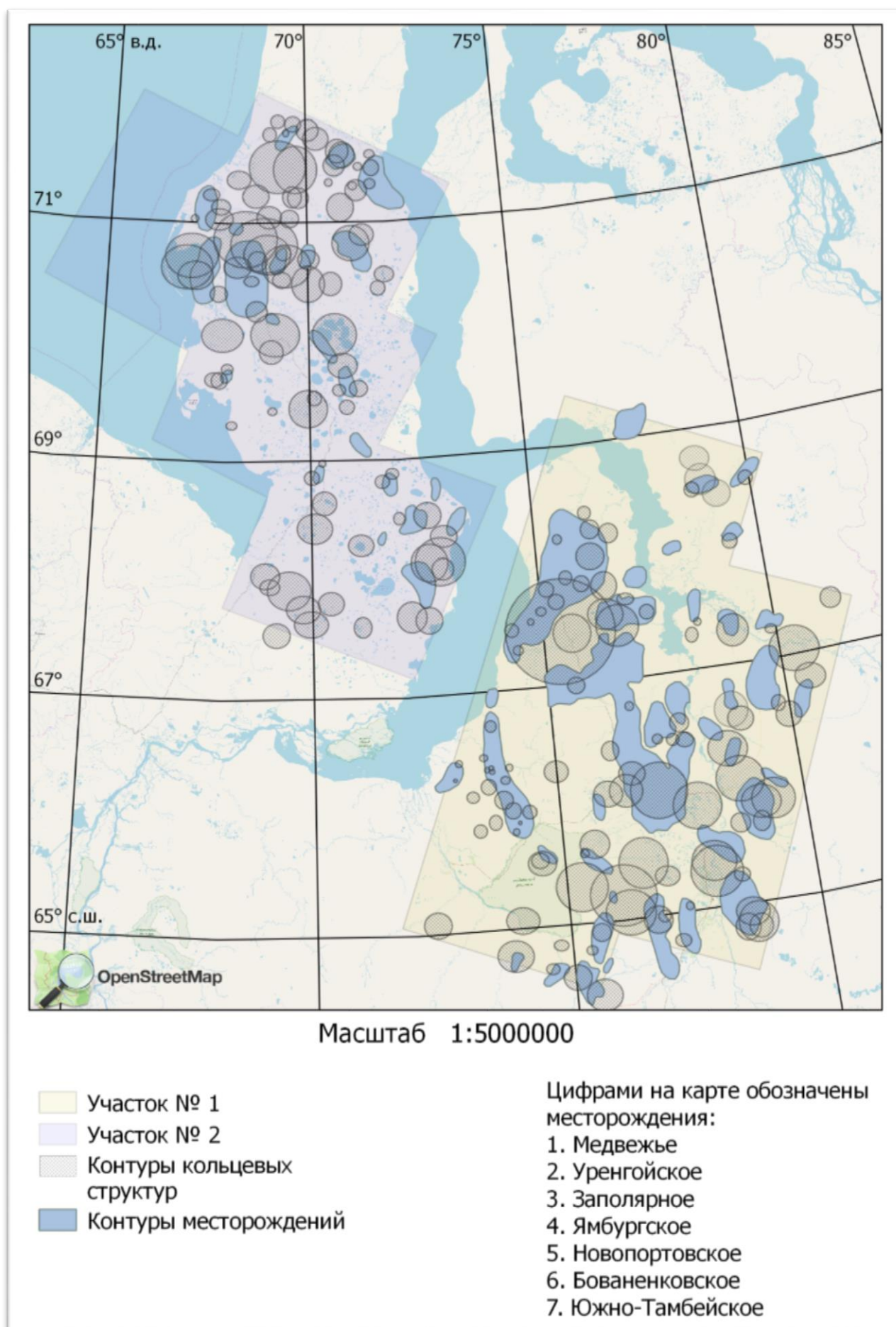




Приложение 5. Пространственное распределение кольцевых структур.



Приложение 6. Распределение кольцевых полигонов и месторождений.





## Приложение 7. Векторная сетка

